

KEKUATAN LENTUR, MOE, DAN MOR KAYU ULIN (*EUSIDEROXYLON ZWAGERI*)

Yosafat Aji Pranata, Johnny Gunawan Palapessy

Jurusan Teknik Sipil, Universitas Kristen Maranatha

Jln Suria Sumantri 65, Bandung 40164, Jawa Barat

e-mail : yosafat.ap@gmail.com

Abstract: In timber beam design (bending structural members), there are needed parameters of bending strength (F_b) and modulus of elasticity (MoE). Bending strength and modulus of elasticity can be obtained from an experimental test in laboratory using standard like ASTM D143. The aim of this research is to doing an experimental test of bending tests of Ulin (*Eusideroxylon Zwageri*) timber using Universal Testing Machine (UTM). Results obtained are bending strength at the proportional limit load (F_b), bending strength at the ultimate limit load (MoR), and modulus of elasticity (MoE). The number of some specimens are three specimens with section area 50 mm x 50 mm, span 760 mm in accordance with primary method ASTM D143. Results obtained F_b 52,45 MPa (standard deviation 226.34 MPa and coefficient of variation 25,40%), MoE 5573,79 MPa, and MoR 85,92 MPa (standard deviation 112.55 MPa and coefficient of variation 7.71%).

Keywords: Ulin, ASTM D143, Bending Strength, MoE, MoR.

Abstrak: Dalam perencanaan balok kayu (komponen struktur lentur), diperlukan parameter kekuatan lentur kayu (F_b) dan modulus elastisitas (MoE). Kekuatan lentur dapat diperoleh dari hasil pengujian eksperimental di laboratorium dengan acuan standar antara lain ASTM D143. Penelitian ini bertujuan melakukan pengujian eksperimental uji lentur kayu Ulin (*Eusideroxylon Zwageri*) dengan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Hasil yang diperoleh adalah kekuatan lentur (F_b) pada beban batas proporsional, kekuatan lentur pada beban ultimit (MoR), dan modulus elastisitas (MoE) lentur. Jumlah benda uji adalah tiga benda uji ukuran penampang 50 mm x 50 mm x 760 mm sesuai metode uji primer ASTM D143. Hasil yang diperoleh adalah F_b sebesar 52,45 MPa (deviasi standar 226,24 MPa dan koefisien variasi 25,40%), MoE sebesar 5573,79 MPa, MoR sebesar 85,92 MPa (deviasi standar 112,55 MPa dan koefisien variasi 7,71%).

Kata kunci: Ulin, ASTM D143, Kekuatan Lentur, MoE, MoR.

PENDAHULUAN

Balok (komponen struktur lentur) merupakan salah satu komponen struktur utama penyusun struktur bangunan gedung, selain kolom tentunya. Balok berperan memikul beban-beban yang bekerja pada bagian atasnya, sebagai contoh ring balok berfungsi menahan beban-beban yang berasal dari atap, balok lantai berfungsi menahan beban-beban yang berasal dari lantai di atasnya (untuk bangunan bertingkat atau rumah bertipe panggung). Perencanaan komponen struktur lentur dapat dilakukan, tentunya berdasarkan peraturan kayu yang ada. Sebagai contoh di Indonesia terdapat SNI 7973:2013 (BSN, 2013), di Amerika Serikat terdapat NDS 2012 (AWC, 2011).

Kayu Ulin (*Eusideroxylon Zwageri*) banyak digunakan sebagai material kayu utama penyusun balok dan kolom rumah kayu. Kayu

Ulin termasuk kategori kelas I dengan kekuatan yang tinggi. Bangunan kayu dapat berupa bangunan rumah tidak bertingkat, rumah panggung, maupun rumah bertingkat.

Kekuatan tekan kayu Ulin (*Eusideroxylon Zwageri*), baik pada arah sejajar dan tegak lurus serat kayu telah diteliti sebelumnya oleh penulis (Pranata dan Suryoatmono, 2014).

Gambar 1 memperlihatkan rumah kayu tipe 8 m x 8 m atau tipe 64 m² yang terbuat dari kayu Ulin. Gambar 2 memperlihatkan rumah tinggal bertingkat yang juga terbuat dari kayu Ulin. Baik rumah pada Gambar 1 dan Gambar 2 menggunakan sistem struktur utama balok dan kolom kayu. Bangunan tersebut selain direncanakan mampu menahan beban gravitasi, juga menahan beban lateral (dalam hal ini adalah beban gempa).



Gambar 1. Rumah kayu tipe 64 m², (sumber: <http://indonetnetwork.co.id/woodenhouse/1099797/rumah-kayu-tipe-64m2.htm>)



Gambar 2. Rumah kayu bertingkat untuk rumah tinggal, (sumber: <http://www.rumahkayu-industrial.com>)

Beberapa rumah adat di Kalimantan, sebagai contoh Rumah Adat suku Dayak Ngaju menggunakan kayu Ulin sebagai bahan material penyusun balok dan kolom utama rumah adat tersebut. Gambar 3 memperlihatkan rumah adat suku Dayak Ngaju di daerah Palangkaraya, yang masih terawat dengan baik.



Gambar 3. Rumah adat suku Dayak Ngaju, Kalimantan (Pranata, 2014)

Penelitian dalam tulisan ilmiah ini bertujuan melakukan pengujian eksperimental di laboratorium, yaitu uji lentur kayu Ulin (*Eusideroxylon Zwageri*) dengan alat *Universal Testing Machine* (UTM). Parameter yang diteliti adalah kekuatan lentur pada beban batas proporsional (F_b), kekuatan lentur pada beban ultimit (MoR), dan modulus elastisitas (MoE) lentur.

Ruang lingkup untuk membatasi lingkup penelitian yaitu antara lain kayu Ulin diambil dari daerah Banjarmasin, Kalimantan. Metode uji yang digunakan adalah metode uji Primer sesuai ASTM D143 (ASTM, 2008), dengan benda uji mempunyai ukuran penampang 50 mm x 50 mm dan panjang bentang kayu 760 mm. Jumlah benda uji adalah tiga benda uji.



Gambar 4. *Universal Testing Machine* (UTM) yang digunakan untuk pengujian lentur (Pranata dan Suryoatmono, 2014)

Pengujian menggunakan *Universal Testing Machine* (UTM) kapasitas 50 ton, sebagaimana terlihat pada Gambar 4. Alat ini selain digunakan untuk pengujian lentur, dapat pula digunakan untuk pengujian tarik, tekan, maupun uji lainnya dengan menyesuaikan dengan kedudukan benda uji dan kecepatan pengujian (Pranata dan Suryoatmono, 2014).

Gambar 5 memperlihatkan bahan baku kayu Ulin yang akan dipergunakan untuk membuat benda uji. Sedangkan Gambar 6.

memperlihatkan contoh benda uji lentur kayu Ulin yang telah selesai difabrikasi.



Gambar 5. Bahan baku kayu Ulin (Palapessy, 2014)



Gambar 6. Benda uji lentur (Palapessy, 2014)

Riwayat Penelitian Terdahulu Tentang Sifat Fisika dan Sifat Mekanika Kayu Ulin

Berdasarkan tinjauan literatur Atlas Kayu Indonesia (PTHH, 2004), *specific gravity* (SG) kayu ulin adalah 1,04. Kekuatan lentur kayu Ulin adalah sebesar 109,19 MPa (F_b atau pada kondisi beban batas proporsional) dan sebesar 140,38 MPa (MoR atau pada kondisi beban batas ultimit/patah). Sedangkan untuk kekuatan tekan sejajar serat kayu Ulin adalah sebesar 65,24 MPa. Kekuatan tarik kayu Ulin adalah sebesar 2,62 MPa (arah radial) dan sebesar 6,19 MPa (arah tangensial) (PTHH, 2004).

Penelitian tentang kekuatan tekan kayu Ulin telah dilakukan pula sebelumnya oleh Pranata dan Suryoatmono (Pranata dan Suryoatmono, 2014). Hasil yang diperoleh yaitu kekuatan tekan sejajar serat sebesar 50,53 MPa (beban batas proporsional), kekuatan tekan sejajar serat 55,64 MPa (beban batas ultimit), dan kekuatan tekan tegak lurus serat sebesar 20,26 MPa (beban batas proporsional).

Selain penelitian sifat mekanika kayu Ulin, penelitian numerikal dan eksperimental khususnya mengenai kekuatan lentur beberapa

spesies kayu Indonesia telah dilakukan pula oleh Pranata dkk. (Pranata et.al., 2011) yaitu untuk jenis kayu Pete (*parkia speciosa*), Meranti merah (*shorea spp.*), Keruing (*dipterocarpus spp.*), dan Akasia Mangium (*acacia mangium*) dengan rentang *specific gravity* berkisar antar 0,40-0,80.

TINJAUAN PUSTAKA

Pengujian Lentur Kayu

Benda uji lentur kayu dapat dibuat salah satunya dengan menggunakan acuan berdasarkan spesifikasi benda uji primer (*primary method*) ASTM D143 (ASTM, 2008), dengan ukuran penampang 50 mm x 50 mm dan panjang bentang balok 760 mm, atau berdasarkan spesifikasi benda uji sekunder (*secondary method*), dengan ukuran penampang 25 mm x 25 mm dan panjang bentang balok 410 mm. Dalam penelitian ini benda uji hanya dibuat mengacu pada benda uji primer saja.

Metode pengujian yang digunakan adalah dengan metode pengujian *center-point loading test*. Kecepatan pembebanan pada alat UTM yaitu (*crosshead*) adalah kontrol peralihan sebesar 2,5 mm/menit.

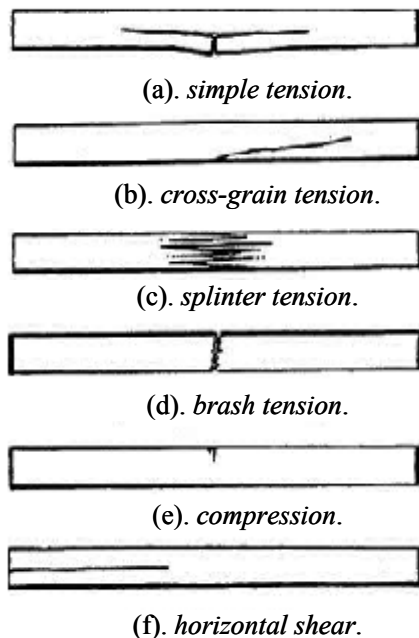


Gambar 7. Pengujian lentur kayu dengan metode primer ASTM D143 (Palapessy, 2014)

Gambar 7 memperlihatkan skematik proses pengujian lentur kayu dengan UTM di laboratorium. Dudukan berupa (idealisasi) sendi dan rol dibuat dengan dudukan menggunakan bahan material baja. Sedangkan beban terpusat ditengah bentang (P) ditempatkan pada bagian atas benda uji. Dalam pengujian ini panjang benda uji 760 mm, jarak antar tumpuan (bentang bersih atau L) sebesar 500 mm.

Kekuatan Lentur

Kekuatan lentur adalah kekuatan batas yang dapat dicapai kayu ketika komponen kayu tersebut mengalami kegagalan akibat lentur (Pranata et.al., 2011). Berdasarkan ASTM D143 (ASTM, 2008) kriteria kegagalan lentur (*static bending flexural failures*) balok dengan model benda uji *center point loading* terdiri dari beberapa klasifikasi tergantung kondisi retak permukaan kayu. Klasifikasi kegagalan balok yaitu *simple tension*, *cross-grain tension*, *splinter tension*, *brash tension*, *compression*, dan *horizontal shear*.



Gambar 8. Klasifikasi kegagalan lentur balok (ASTM, 2008)

Tipe kegagalan *simple tension* (Gambar 1.a) adalah terjadi retak pada serat terluar bagian tarik kemudian retak menjalar pada arah sejajar serat. Tipe kegagalan *cross-grain tension* (Gambar 1.b) adalah terjadi retak pada serat terluar bagian tarik dengan arah penjaralan retak menyilang atau melintasi arah serat. Tipe kegagalan *splinter tension* (Gambar 1.c) adalah pada serat terluar bagian tarik terjadi retak berbentuk serpih sehingga kayu terpecah. Tipe kegagalan *brash tension* (Gambar 1.d) adalah terjadi retak bersifat getas atau regas (*brittle*) pada serat terluar bagian tarik. Tipe kegagalan *compression* (Gambar 1.e) adalah retak terjadi

pada serat terluar bagian tekan. Tipe kegagalan *horizontal shear* (Gambar 1.f) adalah retak menjalar mengikuti arah serat atau disebut gagal geser (ASTM, 2008; Pranata et.al., 2011).

Teori Balok Elastik

Lendutan balok dalam rentang beban elastik (Gere, 2004) untuk model balok sederhana dengan beban terpusat (P) ditengah bentang dapat dihitung berdasarkan Persamaan 1 sebagai berikut,

$$\delta = \frac{P.L^3}{48.E.I_x} \quad (1)$$

Dengan P adalah beban terpusat ditengah bentang, L adalah panjang bentang, E adalah modulus elastisitas yang mana dalam pembahasan tulisan ilmiah ini adalah MoE , sedangkan I_x adalah momen inersia penampang. Selanjutnya Persamaan 1 tersebut dapat ditulis menjadi sebagai berikut,

$$MoE = \frac{\delta.I}{\frac{P.L^3}{48.x}} \quad (2)$$

Sedangkan tegangan normal (lentur) pada permukaan serat terluar dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3 (Gere, 2014) sebagai berikut,

$$\sigma = \frac{M.y}{I_x} \quad (3)$$

dengan σ adalah tegangan normal (lentur), M adalah momen lentur, y adalah jarak dari titik berat penampang ke serat terluar, dan I_x adalah momen inersia penampang.

Metode Penentuan Titik (Beban Batas) Proporsional dan Ultimit

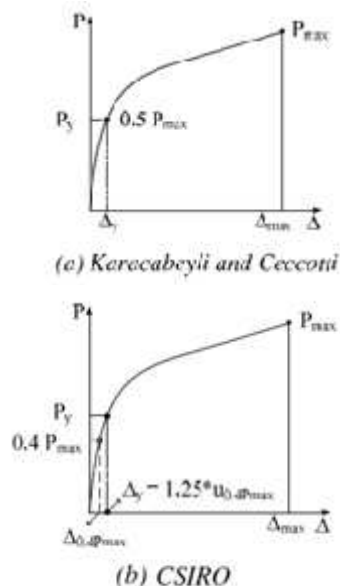
Beberapa metode penentuan titik atau beban batas proporsional dan beban batas ultimit yang dapat digunakan yaitu antara lain metode Karacabeyli dan Ceccotti, CSIRO, EEEP, serta Yasumura dan Kawai (Munoz et al. 2010). Pada Metode Karacabeyli dan Ceccotti, titik (beban batas) proporsional dimodelkan pada nilai sebesar 50% dari beban maksimum (Gambar 9.a). Metode CSIRO (*Commonwealth Scientific*

and Industrial Research Organisation) menggunakan asumsi titik peralihan (beban batas) proporsional diperoleh dari nilai peralihan saat 40% beban maksimum dikalikan faktor 1,25 (Gambar 9.b). Metode EEEP (*Equivalent Energy Elastic-Plastic Curve*) adalah metode yang umum digunakan pada material baja, yaitu pemodelan kurva menjadi model perilaku elastik-plastik sempurna (Gambar 9.c). Luasan kurva hasil uji empiris diasumsikan sama dengan luasan kurva bilinear. Beban batas proporsional (P_y) selanjutnya dihitung dengan Persamaan 4,

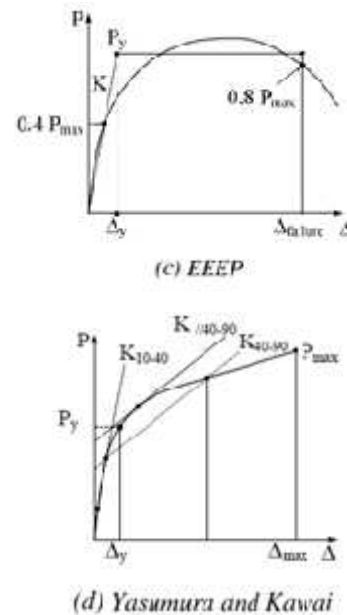
$$P_y = \left[\text{failure} \sqrt{\frac{2}{\text{failure}} \frac{2 \cdot w_{\text{failure}}}{K}} \right] \quad (4)$$

dengan Δ_{failure} adalah deformasi saat runtuh dan w_{failure} adalah energi disipasi sampai runtuh.

Sedangkan untuk Metode Yasumura dan Kawai, kekakuan inisial (berupa garis lurus) dihitung antara rentang 10-40% beban maksimum. Selanjutnya didefinisikan garis lurus antara dua titik dimana nilai 40% dan 90% beban maksimum. Titik (beban batas) proporsional ditentukan dari pertemuan kedua garis tersebut (Gambar 9.d).



Gambar 9. Metode penentuan titik atau beban batas proporsional dan beban batas ultimit (Munoz et.al., 2010).

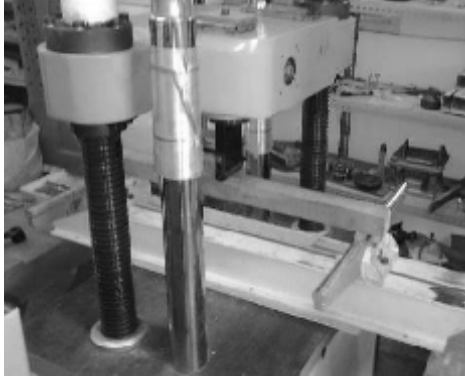


Gambar 9 (lanjutan). Metode penentuan titik atau beban batas proporsional dan beban batas ultimit (Munoz et.al., 2010)

Dalam penelitian ini, keempat metode tersebut digunakan untuk menentukan beban batas proporsional (P_y) dan beban batas ultimit (P_u). Selanjutnya beban batas proporsional digunakan untuk menghitung kekuatan lentur (F_b), sedangkan beban batas ultimit digunakan untuk menghitung kekuatan lentur pada beban batas ultimit atau MoR. Sedangkan MoE dihitung dengan menggunakan Persamaan 2 dengan menggunakan hasil perhitungan P_y dan δ_y , dimana δ_y adalah lendutan balok pada saat beban batas proporsional.

STUDI KASUS DAN PEMBAHASAN

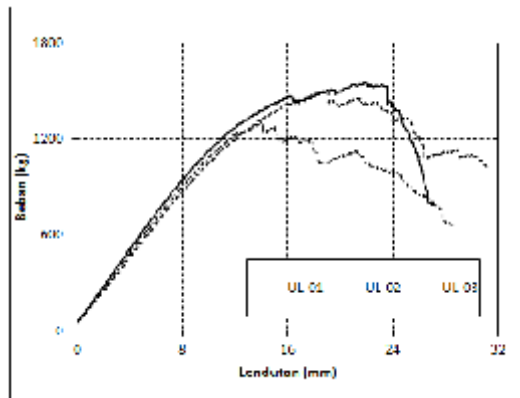
Gambar 10 dan Gambar 11 memperlihatkan proses pengujian lentur di laboratorium. Pengujian dilakukan dengan menggunakan acuan kecepatan pembebanan (*crosshead*) sebesar 2,5 mm/menit (ASTM, 2008). Hasil yang diperoleh adalah riwayat kurva hubungan antara beban dan deformasi vertikal (lendutan) balok. Hasil pengujian (kurva hasil pengujian seluruh benda uji) ditampilkan pada Gambar 12.



Gambar 10. Penempatan benda uji lentur pada dudukan uji dan UTM.



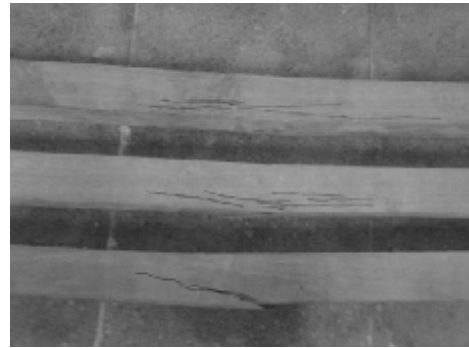
Gambar 11. Proses pengujian lentur kayu Ulin



Gambar 12. Kurva hubungan beban dengan lendutan balok hasil pengujian lentur

Gambar 13 memperlihatkan mode kegagalan benda uji UL-01, UL-02, dan UL-03. Mode kegagalan yang terjadi pada seluruh benda uji adalah berupa *simple tension*, yaitu terjadi retak

pada serat terluar bagian tarik, yang mana kemudian retak menjalar pada arah sejajar serat.



Gambar 13. Mode kegagalan benda uji (Palapessy, 2014)

Selanjutnya beban batas proporsional, lendutan pada kondisi beban batas proporsional, beban batas ultimit, dan lendutan pada beban batas ultimit dapat dihitung dengan menggunakan 4 (empat) metode yaitu Metode Karacabeyli dan Ceccotti, CSIRO, EEEP, serta Yasumura dan Kawai. Hasil perhitungan selengkapnya ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil perhitungan Beban batas Proporsional (P_y) dan Ultimit (P_u)

Metode	Benda Uji	P_y (Kg)	Δ_y (mm)	P_u (Kg)	Δ_u (mm)
K&C	UL-01	745,00	5,56	1505,00	19,00
	UL-02	781,50	6,44	1563,00	22,00
	UL-03	655,50	5,56	1311,00	14,12
CSIRO	UL-01	739,00	5,36	1505,00	19,00
	UL-02	764,00	6,25	1563,00	22,00
	UL-03	640,00	5,45	1311,00	14,12
EEEP	UL-01	1250,37	12,77	1505,00	19,00
	UL-02	1300,56	12,52	1563,00	22,00
	UL-03	1101,24	10,00	1311,00	14,12
Y&K	UL-01	1022,00	9,72	1505,00	19,00
	UL-02	920,00	7,76	1563,00	22,00
	UL-03	775,00	6,72	1311,00	14,12
Rata-rata		891,18	7,84	1459,67	18,37
Dev. Std.		226,34	2,74	112,55	3,39
C.o.V.		25,40	34,90	7,71	18,46

Selanjutnya dengan Persamaan 2 dan Persamaan 3 dapat dihitung besarnya tegangan

pada kondisi beban batas proporsional (F_b), tegangan pada kondisi beban batas ultimit (MoR), dan modulus elastisitas (MoE).

Sebagai catatan bahwa dalam tulisan ilmiah ini, perhitungan tegangan pada beban batas ultimit (MoR) menggunakan asumsi yaitu persamaan tegangan normal yang diturunkan dari teori balok elastik (Gere, 2004), walaupun pada kondisi kenyataannya tidaklah demikian karena balok telah mengalami kondisi pasca elastik.

Hasil perhitungan yang diperoleh yaitu kekuatan lentur kayu Ulin (F_b) sebesar 52,45 MPa (deviasi standar 226,24 MPa dan koefisien variasi 25,40%), Modulus elastisitas lentur (MoE) sebesar 5573,79 MPa, dan kekuatan lentur pada beban batas ultimit (MoR) sebesar 85,92 MPa (deviasi standar 112,55 MPa dan koefisien variasi 7,71%).

KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian dalam tulisan ilmiah ini adalah kekuatan lentur kayu Ulin (F_b) sebesar 52,45 MPa, Modulus elastisitas lentur (MoE) sebesar 5573,79 MPa, dan kekuatan lentur pada beban batas ultimit (MoR) sebesar 85,92 MPa.

Mengingat bank data properti sifat mekanika kayu Indonesia khususnya untuk kayu Ulin (*Eusideroxylon Zwageri*) sangatlah terbatas, maka hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang positif, khususnya untuk perencanaan komponen struktur lentur balok kayu dengan menggunakan kayu Ulin (*Eusideroxylon Zwageri*).

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Teguh dan Bapak Cuncun (staf laboratorium struktur), Universitas Katolik Parahyangan Bandung, atas segala bantuannya dalam kegiatan pengujian eksperimental lentur kayu Ulin.

DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. 2008, *Annual Book of ASTM Standards (Volume 04.10 Wood D143)*, American Society for Testing and Materials.
- American Wood Council. 2011, *ANSI/NDS-2012 National Design Specification for Wood Construction 2012*, American Wood Council.
- Badan Standardisasi Nasional. 2013, *Spesifikasi Desain untuk Kontruksi Kayu SNI 7973:2013*, Badan Standardisasi Nasional.
- Gere, J.M. 2004, *Mechanics of Materials*, Thomson Learning, Inc.
- Munoz, W., Mohammad, M., Salenikovich, A., Quenneville, P. 2010, *Determination of Yield Point and Ductility of Timber Assemblies: In Search for a Harmonized Approach*, Engineered Wood Products Association.
- Palapessy, J.G. 2014, *Penelitian Eksperimental Kekuatan Lentur Kayu Ulin (Eusideroxylon Zwageri)*, Tugas Akhir (tidak dipublikasikan), Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Kristen Maranatha.
- Pranata, Y.A. 2014, *Dokumentasi foto-foto Rumah Adat Suku Dayak Ngaju, Palangkaraya, Kalimantan*.
- Pranata, Y.A., Suryoatmono, B. 2014, *Kekuatan Tekan Sejajar Serat dan Tegak Lurus Serat Kayu Ulin (Eusideroxylon Zwageri)*, Jurnal Teknik Sipil – Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, Volume 21 Nomor 1, April 2014, ISSN 0853-2982, Institut Teknologi Bandung.
- Pranata, Y.A., Suryoatmono, B., Tjondro, J.A. 2011, *Penelitian Numerikal dan Eksperimental Kuat Lentur Kayu Indonesia*, Seminar Nasional-1 BMPTTSSI – KoNTekS 5, Universitas Sumatera Utara, Medan, 14 Oktober 2011.
- Puslitbang Teknologi Hasil Hutan. 2004, *Atlas Kayu Indonesia*, Puslitbang Teknologi Hasil Hutan.
- URL: <http://indonetnetwork.co.id/woodenhouse/1099797/rumah-kayu-tipe-64m2.htm>, diakses tanggal 24 Maret 2014.
- URL: <http://www.rumahkayu-industrial.com>, diakses tanggal 24 Maret 2014.